

**IMPLEMENTASI ROBOT *THREE OMNI-DIRECTIONAL*
MENGUNAKAN KONTROLER PID PADA ROBOT KONTES
ROBOT ABU INDONESIA (KRAI)**

Publikasi Jurnal Skripsi



Disusun Oleh :

RADITYA ARTHA ROCHMANTO

NIM : 0910630017 - 63

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2014**



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Jalan MT Haryono 167 Telp & Fax. 0341 554166 Malang 65145

**KODE
PJ-01**

PENGESAHAN
PUBLIKASI HASIL PENELITIAN SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BRAWIJAYA

NAMA : RADITYA ARTHA ROCHMANTO
NIM : 0910630017 - 63
PROGRAM STUDI : TEKNIK ELEKTRONIKA
JUDUL SKRIPSI : IMPLEMENTASI ROBOT *THREE OMNI-DIRECTIONAL* MENGGUNAKAN KONTROLER PID PADA ROBOT KONTES ROBOT ABU INDONESIA (KRAI)

TELAH DI-REVIEW DAN DISETUJUI ISINYA OLEH:

Pembimbing I

Pembimbing II

M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19741203 200012 1 001

Moch. Rif'an, ST., MT
NIP. 19710301 200012 1 001

IMPLEMENTASI ROBOT *THREE OMNI-DIRECTIONAL* MENGGUNAKAN KONTROLER PID PADA ROBOT KONTES ROBOT ABU INDONESIA (KRAI)

Raditya Artha Rochamnto¹, M. Aziz Muslim, ST., MT., Phd.², Mochammad Rif'an, ST., MT.³

¹Mahasiswa Teknik Elektro UB, ^{2,3}Dosen Teknik Elektro UB
raditya.artha@gmail.com

Abstrak-Kontes Robot Abu Indonesia merupakan ajang perlombaan nasional yang diadakan setiap tahun. Salah satu tugas pada perlombaan ini adalah robot harus dapat memindahkan obyek pada titik – titik tertentu di lapangan perlombaan dengan cara yang cepat dan efisien. Tugas akhir ini merancang dan mengimplementasikan robot *three omni-directional* menggunakan kontroler PID pada robot KRAI. Kelebihan robot *three omni-directional* adalah dapat bergerak ke segala arah tanpa harus mengubah arah hadapnya. Arah gerak pada robot ini bergantung pada perbandingan kecepatan pada tiap roda yang didapat dari perhitungan kinematika robot. Kontroler PID digunakan untuk mengatur kecepatan roda sehingga didapat respon kecepatan yang cepat mencapai *set point* dan stabil. Penentuan parameter kontroler PID menggunakan metode *hand tuning*. Hasil *tuning* parameter PID pada roda 1 diperoleh nilai $K_p = 3$, $K_i = 0,08$, dan $K_d = 1$. Pada roda 2 diperoleh nilai $K_p=3$, $K_i=0,1$, dan $K_d=0,5$ dan pada roda 3 diperoleh nilai $K_p=3$, $K_i=0,08$, dan $K_d=1$. Penggunaan parameter kontroler PID yang tepat membuat robot dapat bergerak sesuai dengan arah yang diinginkan dengan rata – rata kesalahan arah gerak robot sebesar $4,375^0$ dan rata – rata kesalahan arah hadap robot sebesar $5,75^0$.

Kata kunci : robot *three omni-directional*, kontroler PID, KRAI.

A. PENDAHULUAN

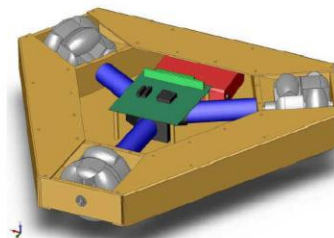
Kontes Robot Indonesia (KRI) merupakan salah satu kompetisi robotika tingkat nasional yang diadakan secara teratur setiap tahun oleh Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi. Kompetisi ini dibagi menjadi beberapa divisi yakni Divisi Kontes Robot Abu Indonesia (KRAI), Divisi Kontes Robot Pemadam Api Indonesia (KRPAI), dan Kontes Robot Sepak Bola Indonesia (KRSBI). Masing – masing divisi memiliki aturan , tugas dan arena yang berbeda. Pada Kontes Robot Abu Indonesia (KRAI) peraturan yang digunakan selalu berubah-ubah tiap tahun bergantung pada tuan rumah ABU ROBOCON diadakan.[1] Dengan aturan yang berbeda – beda robot tetap memiliki tugas yang sama. Robot harus dapat berpindah tempat pada arena perlombaan yang cukup luas untuk memindahkan obyek - obyek pada tempat yang telah ditentukan. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem pergerakan yang tepat agar robot dapat menyelesaikan misi dengan cepat.

Salah satu solusi metode yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah ini adalah dengan menggunakan *omni-directional drive* yang memiliki lebih banyak derajat kebebasan. *Omni directional drive* merupakan salah satu pergerakan robot dengan memanfaatkan kecepatan putaran tiga roda omni sehingga robot dapat bergerak ke berbagai arah tanpa harus mengubah arah hadapnya atau biasa disebut *holonomic robot*. Kecepatan putaran roda berpengaruh sangat penting pada arah gerak robot, maka dari itu dibutuhkan suatu sistem untuk menunjang metode tersebut untuk menstabilkan kecepatan putaran motor pada robot. Dalam skripsi ini akan dibahas Implementasi Robot *Three Omni-Directional* Menggunakan Kontroler *Proportional Integral Derivative* (PID) pada Robot KRAI (Kontes Robot Abu Indonesia). Sistem ini dirancang untuk mendapatkan sistem pergerakan yang cepat dan hadal sehingga *mobile robot* dapat dengan cepat menyelesaikan tugasnya.

B. TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Pergerakan Robot *Three Omni-directional Drive*

Salah satu sistem pergerakan robot yang sedang berkembang pesat adalah robot dengan *three omni-directional drive*. Robot ini berbentuk segitiga sama sisi dengan roda omni diletakkan pada tiap ujungnya. Gambar skematik robot dapat dilihat dalam Gambar 1.



Gambar 1 Bentuk Skematik Robot *Three Omni-directional*

Melalui Gambar 2 persamaan kinematik dari sistem pergerakan ini dapat diperoleh. Persamaan yang digunakan pada sistem kontrol robot adalah:

$$V_x = V_3 - V_1 \cos(\delta) - V_2 \cos(\delta) \dots\dots\dots(2-1)$$

$$V_y = V_1 \sin(\delta) - V_2 \sin(\delta) \dots\dots\dots(2-2)$$

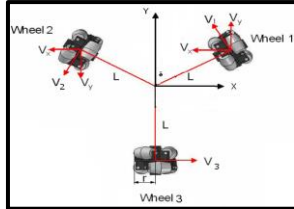
$$V_\phi = V_1/L + V_2/L + V_3/L \dots\dots\dots(2-3)$$

$$V_{i(1,2,3)} = w \cdot r \dots\dots\dots(2-4)$$

Dengan :

r : jari-jari roda omni (cm)

w : kecepatan angular dari roda (rad/detik)



Gambar 2 Representasi Kinematika dari Sistem Pergerakan *Three Omni-directional*

Jadi kecepatan pada tiap roda didapatkan dengan mengalikan antara kecepatan sudut roda dengan jari-jari roda secara analisis teori. Setiap roda disusun secara simetris dengan perbedaan sudut tiap roda (120°) dengan $\delta = (60^\circ)$. Jadi persamaan 2-1, 2-2, dan 2-3 dapat ditulis dengan suatu bentuk matrik.[2]

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_\phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\cos\delta & -\cos\delta & 1 \\ \sin\delta & -\sin\delta & 0 \\ 1/L & 1/L & 1/L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2-5)$$

B. Kontroler PID

Gabungan aksi proporsional, integral, dan diferensial mempunyai keunggulan dibandingkan dengan masing-masing dari tiga aksi kontrol tersebut.

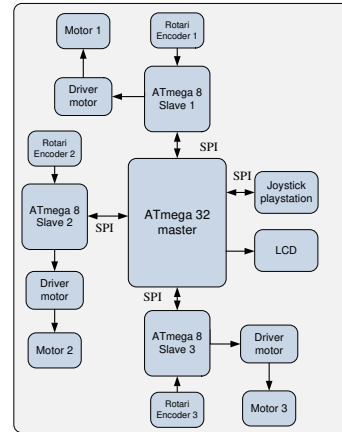
Masing-masing kontroler P, I, dan D berfungsi untuk mempercepat reaksi sistem, menghilangkan offset dan mendapatkan energi ekstra ketika terjadi perubahan load. Persamaan kontroler PID ini dapat dinyatakan pada persamaan berikut,[3]

$$m(t) = K_p \cdot e(t) + \frac{K_p}{T_i} \cdot e(t)dt + K_p \cdot T_d \frac{de(t)}{dt}$$

C. PERANCANGAN SISTEM

A. Perancangan Sistem Keseluruhan

Prinsip kerja sistem ini adalah awalnya mikrokontroller *master* akan mengolah input dari tombol analog *joystick* playstation untuk menentukan arah gerak robot. Sudut arah gerak robot ini menjadi masukan rumus kinematika robot. Hasil dari rumus ini berupa kecepatan untuk masing – masing roda. Mikrokontroller *master* akan mengirimkan data berupa kecepatan roda ke masing-masing mikrokontroller *slave*. Mikrokontroller *slave* akan mengontrol kecepatan putaran tiap roda dengan *feedback* dari rotary encoder. Diagram blok keseluruhan sistem ditunjukkan dalam Gambar 3



Gambar 3 Diagram Blok Perancangan Perancangan Keras (*hardware*) Sistem Secara Keseluruhan

B. Perancangan Desain mekanik

Sistem mekanik yang baik berpengaruh besar pada pergerakan robot, oleh karena itu perancangan mekanik dalam hal ini bodi dan rangka robot haruslah dibuat sepresisi mungkin. Gambar 4 menunjukkan penampakan mekanik robot.

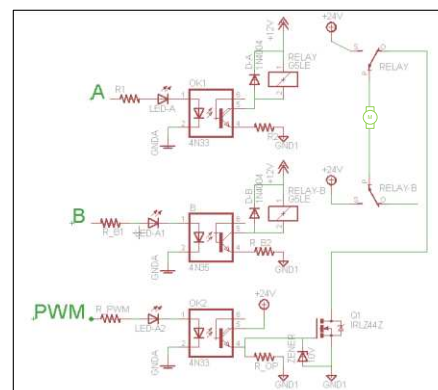


Gambar 4. (a) Rancangan robot tampak atas, (b) Rancangan robot tampak perspektif

Badan robot terbuat dari aluminium dengan lebar 2 cm, ketiga roda memakai roda omni berdiameter 12,5 cm dengan tebal 3 cm. Ukuran robot 70 x 70 cm

C. Perancangan Rangkaian Driver Motor

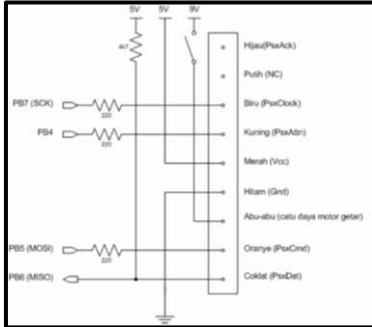
Robot pada perancangan ini menggunakan sistem *driver relay*. Sistem ini terdiri atas sepasang *relay* yang bekerja secara terbalik untuk mengatur putaran motor dan komponen E-MOSFET untuk mengatur kecepatan pada motor. Secara keseluruhan rangkaian pengendali arah putaran dan kecepatan motor ditunjukkan dalam Gambar 5.



Gambar 5. Rangkaian Keseluruhan Driver Motor

D. Perancangan Antarmuka Joystick Playstation dengan Mikrokontroler ATmega32

Antarmuka antara joystick playstation (PS) dengan mikrokontroler ATmega32 menggunakan komunikasi SPI. Rangkaian antarmuka antara joystick PS dengan mikrokontroler ATmega32 dapat dilihat dalam gambar 6.[4]



Gambar 6 Rangkaian Antarmuka Joystick Playstation dengan Mikrokontroler ATmega32

E. Perancangan Sistem Kinematika Robot Three Omni Directional

Pada robot *three omni-directional* untuk bergerak ke sudut yang diinginkan maka harus diketahui terlebih dahulu perbandingan kecepatan motor (V_1, V_2, V_3). Nilai dari V_1, V_2 , dan V_3 dapat diperoleh dari penjabaran persamaan 2-5 sebagai berikut

$$V_1 = -\frac{1}{3} \cdot \cos \psi + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \sin \psi + \frac{L}{3} \cdot V_\phi$$

$$V_2 = -\frac{1}{3} \cdot \cos \psi - \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \sin \psi + \frac{L}{3} \cdot V_\phi$$

$$V_3 = \frac{2}{3} \cdot \cos \psi + \frac{L}{3} \cdot V_\phi$$

Nilai V_1, V_2, V_3 digunakan sebagai perbandingan kecepatan tiap roda dan dikalikan dengan kecepatan tertentu, dalam skripsi ini ditetapkan kecepatan yang digunakan sebagai pengali adalah 300 rpm. Kecepatan yang digunakan ini harus sama atau lebih pelan dibandingkan dengan kecepatan maksimal roda yang paling pelan diantara tiga roda tersebut. Kecepatan roda untuk pergerakan robot ke beberapa sudut dapat dilihat dalam tabel 1

Tabel 1 Kecepatan Tiap Roda

No	Sudut Gerak Robot ($^\circ$)	V1(rpm)	V2(rpm)	V3(rpm)
1	0	-99	-99	198
2	45	50	-190	140
3	90	170	-170	0
4	135	190	-50	-140
5	180	99	99	-198
6	225	-50	190	-140
7	270	-170	170	0
8	315	-190	50	140

Nilai negatif menunjukkan arah perputaran roda yang searah dengan arah jarum jam dan nilai positif berlawanan arah jarum jam.

F. Perancangan Sistem Tuning Kontroler PID Menggunakan Metode Kedua Ziegler-Nichols pada Robot Three Omni-Directional

Proses Tuning PID pada perancangan ini menggunakan metode kedua Ziegler Nichols sehingga harus dicari terlebih dahulu nilai K_p saat terjadi osilasi berkesinambungan pada masing – masing motor dengan nilai K_i dan K_d adalah 0. Dari nilai K_p saat terjadi osilasi berkesinambungan dapat dicari K_{cr} dan P_{cr} . Dengan nilai K_{cr} dan P_{cr} , dapat dihitung nilai K_i dan K_d dengan persamaan

$$K_p = 0.6 \times K_{cr}$$

$$T_i = 0.5 \times P_{cr}$$

$$T_d = 0.125 \times P_{cr}$$

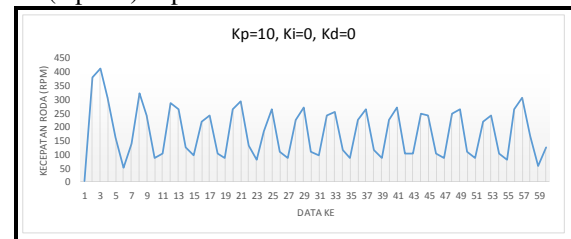
Nilai K_i dan K_d didapatkan dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut.

$$K_i = \frac{K_p}{T_i}$$

$$K_d = K_p \times T_d$$

1. Perancangan Tuning Parameter PID Pada Roda 1

Hasil pengujian respon putaran roda dengan menggunakan kontroler proporsional dengan nilai 10 ($K_p=10$) dapat dilihat dalam Gambar 7

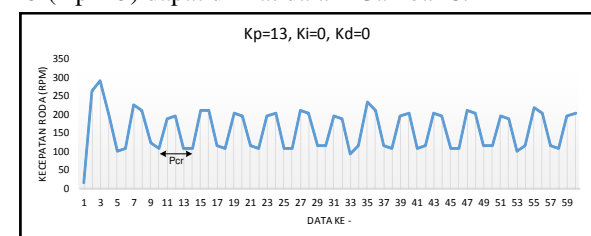


Gambar 7 Grafik respon kecepatan roda 1 dengan $K_p=10, K_i=0, K_d=0$

Hasil *tuning* parameter PID dengan menggunakan metode kedua Ziegler-Nichols pada roda 1 diperoleh nilai $K_p = 6, K_i = 92,31$, dan $K_d = 0,096$.

2. Perancangan Tuning Parameter PID Pada Roda 2

Hasil pengujian respon putaran roda dengan menggunakan kontroler proporsional dengan nilai 13 ($K_p=13$) dapat dilihat dalam Gambar 8.

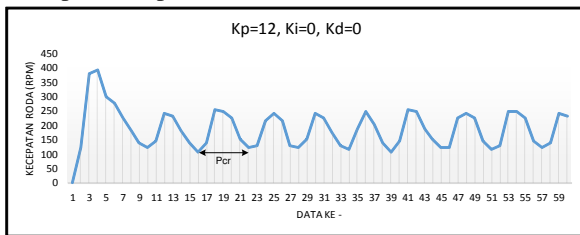


Gambar 8. Grafik respon kecepatan roda 2 dengan $K_p=13, K_i=0, K_d=0$

Hasil *tuning* parameter PID dengan menggunakan metode kedua Ziegler-Nichols pada roda 2 diperoleh nilai $K_p = 7,8, K_i = 120$, dan $K_d = 0,1248$.

3. Perancangan *Tuning* Parameter PID Pada Roda 3

Hasil pengujian respon putaran roda dengan menggunakan kontroler proporsional dengan nilai 12 ($K_p=12$) dapat dilihat dalam Gambar 9.



Gambar 9. Grafik respon kecepatan roda 3 dengan $K_p=12$, $K_i=0$, $K_d=0$

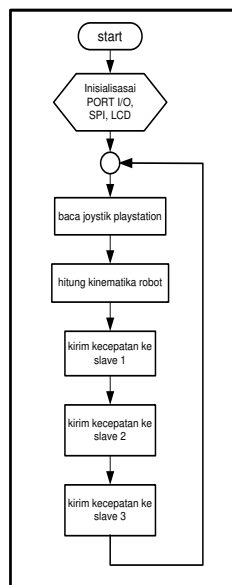
Hasil *tuning* parameter PID dengan menggunakan metode kedua Ziegler-Nichols pada roda 3 diperoleh nilai $K_p = 7,2$, $K_i = 73,47$, dan $K_d = 0,1764$.

G. Perancangan Perangkat Lunak

1. Perancangan Program Mikrokontroler

Master

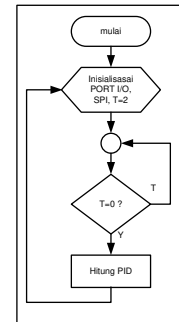
Program utama mikrokontroler master dirancang untuk melakukan proses antarmuka dengan *joystick* playstation, menghitung kinematika robot dan komunikasi SPI dengan tiga mikrokontroler *slave*. Diagram alir program utama *master* ditunjukkan dalam Gambar 10.



Gambar 10. Diagram alir program utama *master*

2. Perancangan Program Mikrokontroler *slave*

Program utama mikrokontroler *slave* dirancang untuk melakukan proses komunikasi dengan mikrokontroler *master* dengan SPI, data kecepatan rotary dan melakukan proses perhitungan PID. Diagram alir program utama *slave* ditunjukkan dalam Gambar 11.



Gambar 11. Diagram alir program utama mikrokontroler *slave*

D. PERANCANGAN SISTEM

Pengujian dan analisis dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem, apakah sistem telah sesuai dengan perancangan. Pengujian dilakukan per blok sistem kemudian secara keseluruhan.

A. Pengujian Data *Joystick* Playstation

Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah pembacaan sudut yang dibaca oleh mikrokontroler sesuai dengan sudut pergerakan yang dilakukan pada tombol analog *joystick*. Pada Pengujian ini, tombol analog digerakkan ke sudut 0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° , dan 315° . Perangkat *joystick* akan mengirimkan data komunikasi SPI ke mikrokontroler. Mikrokontroler mengolah data yang didapat menjadi sudut arah tombol analog dan ditampilkan pada LCD. Hasil pengujian ditunjukkan dalam Gambar 12.



Gambar 12. Arah Tombol Analog dan Tampilan Pada LCD

Dari hasil pengujian joystick terlihat bahwa joystick dapat mengirimkan data ke mikrokontroler. Mikrokontroler dapat mengolah data digital yang diperoleh dari *joystick* menjadi sudut sesuai dengan arah tombol analog. Data

sudut yang ditampilkan pada LCD sesuai dengan arah tombol analog digerakkan.

B. Pengujian Komunikasi SPI Antara Mikrokontroler Master dan slave

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui dan memeriksa perangkat lunak yang disusun dalam perangkat mikrokontroler apakah sudah dapat menangani komunikasi SPI antara mikrokontroler master (ATmega32) dengan mikrokontroler slave (ATmega8). Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian komunikasi SPI dari tiga kali percobaan.

Tabel 2. Hasil Pengujian komunikasi SPI master – slave

Arah tekan tombol analog ($^{\circ}$)	Nilai pada LCD			Nilai pada komp.		
	V ₁ (rpm)	V ₂ (rpm)	V ₃ (rpm)	Slave 1	Slave 2	Slave 3
0	99	99	198	99	99	198
90	170	170	0	170	170	0
180	99	99	198	99	99	198

Dari hasil pengujian komunikasi SPI (*Serial Peripheral Interface*) terlihat bahwa mikrokontroler master dapat mengirimkan data konstanta ke mikrokontroler slave. Data yang ditampilkan pada mikrokontroler slave di komputer sama dengan data yang ditampilkan oleh mikrokontroler master pada LCD. Hasil pengujian ini juga menunjukkan bahwa program yang terdapat pada MK slave dan master dapat bekerja dengan baik dalam berkomunikasi secara SPI.

C. Pengujian Sensor Rotary Encoder

Pengujian ini bertujuan untuk melihat apakah sensor rotary encoder yang dipakai dapat menghasilkan pulsa sesuai dengan datasheet dari rotary encoder. Pada datasheet, rotary encoder dapat menghasilkan 500 pulsa dalam satu putaran. Pada pengujian ini, sensor rotary encoder diputar sebesar $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, dan 1 putaran. Pada masing – masing putaran dilihat berapa pulsa yang terbaca oleh mikrokontroler. Jumlah pulsa yang terbaca ditampilkan pada komputer. Hasil pengujian yang diperoleh dari beberapa pengambilan data ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Pengujian data pulsa rotary encoder

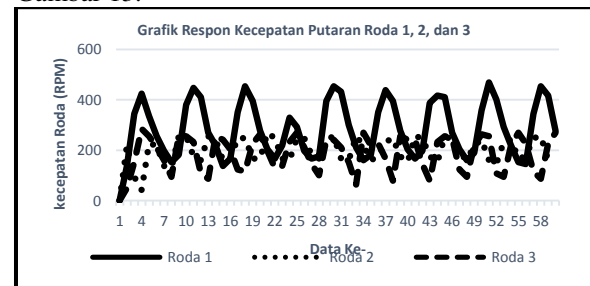
Pengujian ke-	Besarnya putaran	Rotary encoder 1	Rotary encoder 2	Rotary encoder 3
		Jumlah Pulsa	Jumlah Pulsa	Jumlah Pulsa
1	$\frac{1}{4}$	125	125	127
		125	125	125
		126	125	126
2	$\frac{1}{2}$	247	250	250
		250	250	249
		248	251	249
3	$\frac{3}{4}$	375	373	375
		375	374	376
		375	375	375

4	1	500	500	501
		502	498	500
		501	501	500

Berdasarkan Tabel 3 dapat diperoleh hasil bahwa kesalahan rata – rata yang terjadi saat pembacaan jumlah pulsa rotary encoder sebesar 0.75 pulsa atau dibulatkan menjadi 1 pulsa. Kesalahan pembacaan terbesar yaitu 3 pulsa. Pada pengujian, kesalahan pembacaan berupa jumlah pulsa yang kurang atau lebih besar dari nilai seharusnya. Kesalahan ini dapat terjadi karena kesalahan dalam memutar rotary encoder.

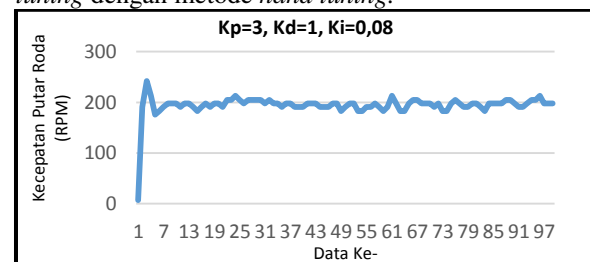
D. Pengujian Hasil Tuning Parameter PID

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk melihat respon roda dari nilai parameter kontrol PID (Kp, Ki dan Kd) dengan menggunakan metode Osilasi Ziegler-Nichols yang telah didapat sebelumnya. Grafik respon kecepatan roda hasil tuning dengan metode kedua Ziegler-Nichols ditunjukkan dalam Gambar 13.

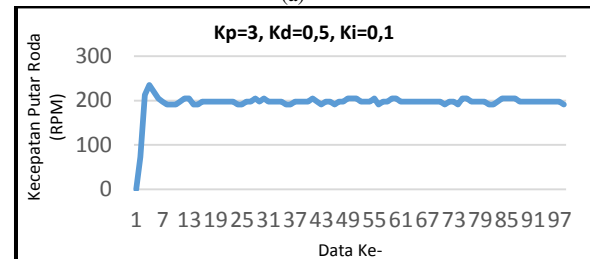


Gambar 13 grafik respon kecepatan roda hasil tuning dengan metode kedua Ziegler - Nichols

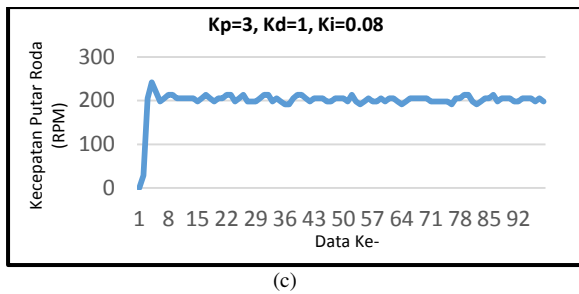
Gambar 13 menunjukkan respon kecepatan yang tidak stabil sehingga digunakan metode *hand tuning*. Gambar 14 menunjukkan respon kecepatan roda pada roda 1, 2, dan 3 setelah dilakukan proses tuning dengan metode *hand tuning*.



(a)



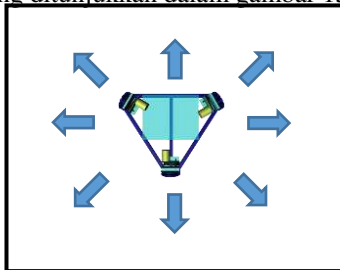
(b)



Gambar 14 Grafik respon kecepatan (a) Roda 1, (b) Roda 2, (c) Roda 3.

E. Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian keseluruhan sistem ini bertujuan untuk mengetahui performansi robot *three omni-directional* untuk bergerak ke sudut – sudut tertentu. Prosedur pengujian dilakukan dengan mengendalikan robot dengan menggunakan joystick untuk bergerak ke sudut - sudut tertentu seperti yang ditunjukkan dalam gambar 15.



Gambar 15 Arah Gerak Robot

Hasil pengujian untuk respon robot saat dikendalikan untuk bergerak ke arah tertentu setelah beberapa kali percobaan dapat dilihat dalam tabel 4

Tabel 4 Hasil Pengujian Arah Gerak Robot

Sudut Joystick ($^{\circ}$)	Sudut gerak robot ($^{\circ}$)	Perubahan hadap robot($^{\circ}$)
0	5	6
	5	7
	5	6
45	60	10
	50	14
	58	13
90	90	0
	88	0
	91	0
135	132	-13
	128	-10
	132	-10
180	190	-5
	175	-6
	181	0
225	218	-5
	218	0
	220	0
270	273	4
	272	0
	268	0
315	323	3
	319	-6
	323	0

Berdasarkan tabel diatas dapat diperoleh hasil rata – rata kesalahan sudut gerak robot sebesar $4,375^{\circ}$. Hasil pengujian menunjukkan rata – rata error hadap robot sebesar $5,75^{\circ}$. Pada error hadap

robot terdapat nilai sudut positif dan negatif, untuk positif menandakan robot berputar berlawanan arah jarum jam, sedangkan nilai negatif menandakan robot berputar searah jarum jam dari posisi awalnya.

E. KESIMPULAN

Dari hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

1. Metode osilasi ziegler-nichols tidak dapat diterapkan karena dengan parameter kontroler PID yang diperoleh, respon putaran roda tidak dapat mencapai kestabilan. Parameter kontroler PID diperoleh dengan metode *hand tuning*. Pada roda 1 diperoleh nilai $K_p = 3$, $K_i = 0,08$, dan $K_d = 1$. Pada roda 2 diperoleh nilai $K_p = 3$, $K_i = 0,1$, dan $K_d = 0,5$. Pada roda 3 diperoleh nilai $K_p = 3$, $K_i = 0,08$, dan $K_d = 1$.
2. Dari hasil pengujian, robot *three omni-directional* dapat bergerak ke sudut 0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° , dan 315° . Hal ini terlihat dari rata – rata kesalahan sudut gerak robot sebesar $4,375^{\circ}$. Kesalahan arah gerak robot terbesar adalah 11° saat sudut arah gerak robot 45° . Terdapat perubahan hadap robot setelah bergerak dengan rata – rata kesalahan sebesar $5,75^{\circ}$.

Daftar Pustaka

- [1] Dikti 2013. *Panduan Kontes Robot Indonesia 2013*. Jakarta: DIKTI.
- [2] Al-Ammri, Salam dan Iman Ahmed. 2010. *Control of Omni –Directional Mobile Robot Motion*. Baghdad: Al-Khwarizmi Engineering Journal.
- [3] Ogata, Katsuhiko. 1997. *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1*. Jakarta: Penerbit Erlangga
- [4] Nugroho Adi, Agung. 2009. *Antarmuka Joystick Playstation dengan mikrokontroler AVR menggunakan CVAVR*. <http://nugroho.staff.uii.ac.id/files/2009/01/psx.pdf>. Diakses tanggal : 10 April 2013.